Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, May.-Jun., 2025, p. 199-215

The Effect of Serish Root Gum (*Eremurus luteus*) as Fat Replacer on Rheological, Physical and Sensory Properties of Low Fat Ice Cream

F. Sabzemeidani[1], M. Taghizadeh[1*], M.S. Hemmati Hasanpoor[1]

1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

Received:	20.09.2024	**How to cite this article:**
Revised:	04.01.2025	Sabzemeidani, F., Taghizadeh, M., & Hemmati Hasanpoor, M.S. (2025). The effect of Serish root gum (*Eremurus luteus*) as fat replacer on rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *21*(2), 199-219. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.89668.1363
Accepted:	19.02.2025	
Available Online:	23.04.2025	

Introduction

Ice cream is a frozen product, which is obtained from milk by adding compounds such as sweeteners, emulsifiers, stabilizers and flavoring agents. The structure of ice cream is a complex physicochemical system composed of three phases: liquid, solid and gas. Scientific results have shown that there is a connection between high fat consumption and cardiovascular diseases. Considering that ice cream is an almost fatty product and is particularly popular among people in the society, there is a greater demand for consuming low-fat varieties of this product. The food industry is also looking for new alternatives to minimize the negative effects of fat reduction on quality of ice cream .Hydrocolloids, are carbohydrate-based fat substitutes, which can mimic the mouthfeel and flow characteristics of fat cells due to their emulsifying and water binding capabilities. Eremurus luteus is one of the rhizome plants belonging to the Asphodelaceae family, cultivated around the world, including Iran. Cerise root gum is a new source of hydrocolloid with a glucose to mannose ratio of 1:1 to 1 from the family of glucomannans. The intrinsic viscosity of this gum was measured as 6.32 and 6.35 dl/g according to Huggins and Kramer equations, respectively, and it has the highest foam stability in concentrations of 0.2 to 0.5%. The rheological properties of cerise root gum have proven its important role as a new thickener, stabilizer and foaming agent.

Materials and Methods

In this research, sterilized and homogenized milk (1.5% fat) from Mihan Dairy Industries Company, sterilized and homogenized cream (25% fat) from Pegah Khorasan Dairy Industries Company, emulsifier 471 E from Beldom Belgium Company, powdered skim milk from Pegah company.Sugar and vanilla from confectionery store. Serish root gum was prepared according to the method of Salahi *et al*. (2021).

The amount of ingredients required for the normal sample (high-fat control) was determined based on primary sources, including 10% fat, 11% fat-free milk solids, 12% sugar, 0.25% stabilizer, 0.15% emulsifier and 0.1% vanilla. According to the definitions for reduced-fat ice cream, 75% fat reduction was made from the normal sample (10% fat). In this regard, the investigated treatments were as follow: the amount of fat (2.5% fat: L), the type of gum (SRG) and the concentration of gum (at four levels: 0.2, 0.3, 0.4, 0.5%) compared to the control sample as high fat (10% fat: F).

First, the liquid ingredients, including milk and cream, were continuously stirred while heating up to a maximum of 5 °C. After that, the mixture of solid materials (sugar, milk powder, gum, etc.) was added to the liquid part and mixed with a stirrer for three minutes after dissolving thes solids. The resulting mixture was pasteurized at 80°C for 25 seconds and homogenized with a homogenizer at 22,000 rpm for 1 minute and transferred to a water, salt, and ice bath and cooled to 50°C. Then, it was kept in the refrigerator at a temperature of 5°C for 24 hours. Finally, the mixture was transferred to a non-continuous ice cream machine for 15 minutes for the freezing stage, and the samples were poured into special containers with lids and coded, and placed in a freezer at -18 °C

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.89668.1363

for at least 24 hours.

Results and Discussion

By adding gum and increasing its concentration, the amount of apparent viscosity, consistency coefficient, yield stress, plastic viscosity, textural characteristics (hardness, adhesion, continuity and apparent modulus of elasticity) increased. In the sensory evaluation section, the characteristics of creaminess, sweetness, viscosity, roughness, coldness and hardness were evaluated by transient dominant sensation test and these changes were significant in most cases. Sample containing 0.3% gum had the highest overall acceptance after the control sample compared to other samples. The results showed that these variables have the ability to simulate rheological properties (apparent viscosity, consistency coefficient, yield stress and plastic viscosity), melting speed and sensory characteristics such as creaminess, roughness, cryogenicity, viscosity, hardness and overall acceptance of the control sample with high fat as effective factors on the texture production process and the mouthfeel of the product in low-fat ice creams. On the other hand, due to the absence of significant differences between the data obtained from the pH and dry matter measurement tests, the applicability of Serish gum can be confirmed as a fat substitute.

Conclusion

The examined samples all showed the loosening behavior with cutting. In the sample containing 0.2% gum, the melting speed increased (from 0.32 to 0.39), also with the increase in the amount of gum in the samples, the freezing temperature decreased by one degree Celsius (from39.4 to 39.5). Overall acceptance, pH and dry matter did not change significantly, which indicates the usefulness and applicability of this method. Also, regarding the rheological characteristics, the highest consistency coefficient in the 0.5% gum sample was 2.2605, similarly, the highest yield stress was in 0.5% gum sample and was 6.7076 pa. Similarly, the highest amount of Plastic viscosity and apparent viscosity belonged to the sample containing 0.5% gum. It was also shown that in the rheological characteristics, with the increase in the amount of gum in the samples, the amount of the relevant parameter increased significantly, and in all these parameters, sample containing 0.2% showed a lower amount than the control sample.

Keywords: Fat replacer, Hydrocolloid, Low fat ice cream, Rheology, Serish root Gum (*Eremurus luteus*)

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۴، ص. ۲۱۵-۱۹۹

بررسی تأثیر صمغ ریشه گیاه سریش به‌عنوان جانشین چربی بر ویژگی‌های فیزیکی، حسی و رئولوژیکی بستنی کم‌چرب

فاطمه سبزه‌میدانی[۱]- مسعود تقی‌زاده[۱*]- محمد صالح همتی حسن‌پور[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

چکیده

توسعه جانشین چربی که خصوصیات بافتی و کیفیت حسی بستنی را حفظ کند، همچنان یک چالش بزرگ در کاهش چربی بستنی است. در این پژوهش، در جهت کاهش میزان درصد چربی بستنی پرچرب به ۲/۵ درصد به‌وسیله صمغ ریشه گیاه سریش در سطوح مختلف (۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵درصد) که به‌عنوان جایگزین چربی مورد استفاده قرار گرفت و پس از تولید مخلوط بستنی مدنظر، آزمون‌های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی بر تیمارهای ایجاد شده در مقایسه با نمونه پرچرب (۱۰ درصد) انجام گردید. براساس نتایج حاصل، نمونه‌های مورد بررسی تماماً رفتار شل‌شونده با برش را از خود نشان دادند. در نمونه حاوی ۰/۲ در صد از صمغ، سرعت ذوب با افزایش (از ۰/۳۲ به ۰/۳۹) رو به رو شد، همچنین با افزایش میزان صمغ در نمونه‌ها، دمای خروج از انجماد یک درجه سلسیوس کاهش پیدا کرد (از ۴/۳۹- به ۵/۳۹-). پذیرش کلی، pH و ماده خشک تغییر واضحی نداشتند (P≥۰/۰۵) که نشان‌دهنده مفید و کاربردی بودن این روش می‌باشد. همین‌طور در خصوص ویژگی‌های رئولوژیکی، بیشترین میزان ضریب قوام در نمونه ۰/۵در صد صمغ و برابر با ۲/۲۶۰۵، به‌طور مشابه بیشترین تنش تسلیم نیز در نمونه ۰/۵در صد صمغ و برابر با ۶/۷۰۷۶pa و به همین شکل، بیشترین مقدار ویسکوزیته پلاستیک (P<۰/۰۵) و ویسکوزیته ظاهری (P≥۰/۰۵) نیز متعلق به نمونه حاوی ۰/۵ درصد صمغ بود. همچنین نشان داده شد که در ویژگی‌های رئولوژیکی با افزایش میزان صمغ در نمونه‌ها، میزان پارامتر مربوطه افزایش قابل توجهی داشت که در تمام این پارامترها، نمونه حاوی ۰/۲ در صد به شکل استثنا از نمونه شاهد میزان کمتری را نشان داد، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از صمغ ریشه سریش به‌عنوان جایگزین چربی برخی خصوصیات نمونه‌های کم‌چرب را پرچرب نزدیک کرده و می‌تواند با ارائه یک محصول سالم‌تر با ویژگی‌های بافتی و حسی قابل قبول منجر به تولید محصولی مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بستنی کم‌چرب، جایگزین چربی، رئولوژی، صمغ ریشه گیاه سریش، هیدروکلویید

مقدمه

بستنی یک فرآورده منجمد است که از شیر با افزودن ترکیباتی مانند مواد شیرین‌کننده، امولسیفایر، پایدارکننده و مواد مولد عطروطعم به‌دست می‌آید. ساختمان بستنی یک سیستم فیزیکوشیمیایی پیچیده است که شامل سه‌فاز مایع، جامد و گاز می‌باشد (Marshal *et al.*, 2003). نتایج علمی نشان داده‌اند که میان مصرف چربی زیاد و بیماری های قلبی عروقی ارتباط وجود دارد، با نظر به اینکه بستنی فرآورده‌ای تقریبا چرب است و از محبوبیت ویژه‌ای نیز در بین افراد جامعه دارد، تقاضای بیشتری برای مصرف انواع کم‌چرب این فرآورده وجود دارد. سرانه مصرف بستنی در ایران به‌طور میانگین برای هر فرد ۳/۵ تا ۴ لیتر در سال گفته شده است (Iranian Dairy Products Industry

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.89668.1363

Association, 2019). صنعت غذا نیز در جست وجوی جایگزین‌های جدید است تا اثرات منفی کاهش چربی بر کیفیت بستنی را به حداقل برساند (Javidi *et al*., 2016). عمدتا جایگزین‌های چربی بر پایه کربوهیدرات‌ها، هیدروکلوئیدها هستند که به‌دلیل قابلیت امولسیون کنندگی و اتصال به آب، می‌توانند ویژگی‌های حس دهانی و جریانی را از گلبول‌های چربی تقلید کنند (Lim, Inglett, & Lee, 2010).

سریش با نام علمی *Eremurus luteus* از گیاهان ریزوم‌دار بهار گل متعلق به خانواده آسفودلاسه است که به‌طور عمده در دنیا و از جمله ایران و در مناطقی مانند خراسان قابل رویش می‌باشد (Javidi *et al*., 2016). صمغ ریشه‌ی سریش به‌عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی است که با نسبت گلوکز به مانوز ۱/۱ به ۱ از خانواده گلوکومانان‌ها است. ویسکوزیته ذاتی این صمغ، بنا بر معادلات هاگینز و کرامر به ترتیب برابر ۶/۳۲ و ۶/۳۵ دسی‌لیتر بر گرم اندازه‌گیری شد و در غلظت‌های ۰/۲ تا ۰/۵ درصد، بالاترین ثبات کف را دارد. خواص رئولوژیکی صمغ ریشه سریش نقش مهم آن را به‌عنوان یک غلیظ‌کننده، پایدارکننده و عامل کف‌کننده جدید نشان داده است (Salahi, Razavi, & Amiri, 2022). پودر سریش مستخرج از غده‌های ریشه‌ای سریش *Eremurus luteus* بوده و حاوی ترکیبات مختلفی از جمله پروتئین (۶/۲۲درصد)، کربوهیدرات (۸۶/۴۵ درصد) و اسیدهای اورونیک (۸/۶ درصد) است. کربوهیدرات‌های موجود در صمغ این گیاه می‌توانند مقادیر زیادی آب به خود جذب کرده و جزء هیدروکلوئیدها دسته‌بندی می‌شوند (Salahi *et al*., 2022). علاوه بر کربوهیدرات‌های مختلف از جمله گالاکتومانان، اینولین نیز بخش زیادی از محتوای مواد جامد پودر سریش را تشکیل می‌دهد. این ماده پلی‌ساکاریدی متشکل از گروه‌های تکرارشونده فروکتوز است که برخلاف نشاسته محلول در آب نیز هست (Hoseiniparvar *et al*., 2010). ماهیت محلول در آب اینولین به این معنی است که می‌تواند رطوبت سیستم را به خود جذب کرده و تشکیل شبکه ژل‌مانندی بدهد که در نهایت باعث تغییر خصوصیات رئولوژیکی سیستم بستنی از جمله ویسکوزیته آن می‌گردد (Amiri Aghdaei *et al*., 2012).

مطالعاتی بر روی صمغ دانه ریحان انجام گرفت که نشان داد، این صمغ رفتار سودوپلاستیک را با افزایش تدریجی غلظت دار می‌باشد (Bahramparvar & Gof, 2013؛Hosseini-Parvar *et al*., 2010). صمغ دانه ریحان می‌تواند به‌عنوان عوامل کف‌کننده، امولسیون‌کننده، غلیظ‌کننده، ژل‌کننده، اتصال‌دهنده، جایگزین‌کننده چربی، تثبیت‌کننده و معلق کننده در بسیاری از محصولات غذایی عمل کند (Poursani *et al*., 2021).

اثر جایگزینی مقادیر متفاوت صمغ‌های کربوکسی‌متیل سلولز و ثعلب با صمغ دانه بالنگو شیرازی بر ویژگی‌های بستنی خامه‌ای سخت پژوهش گردید، نتایج بیان داشتند که استفاده از صمغ بالنگو و اثر هم‌افزایی آن همراه با سایر صمغ‌ها باعث کاهش اور ران[1]، افزایش ویسکوزیته و بهبود خصوصیات حسی بستنی می‌گردد. (Bahramparvar *et al*., 2013). همچنین لیو و همکاران از صمغ دانه‌های ریحان و بالنگو و همچنین گزانتان به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون کره پسته کم‌چرب استفاده کرد و نتایج روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی جایگزین‌های چربی در فرمولاسیون کره پسته کم‌کالری مناسب تشخیص داده شد (Liu *et al*., 2018).

در این پژوهش، برای نخستین‌بار از صمغ ریشه گیاه سریش به‌عنوان جایگزینی برای چربی در بستنی استفاده شد و اثرات آن بر ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکی و حسی بستنی کم‌چرب مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این پژوهش، ارزیابی توانایی این جایگزین در تقلید خصوصیات بستنی پرچرب بود به‌نحوی‌که ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکی و حسی مطلوب آن حفظ شود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

در این پژوهش شیر استریلیزه و هموژنیزه (۱،۵ درصد چربی) از شرکت صنایع لبنی میهن، خامه استرلیزه و هموژنیزه (۲۵ درصد چربی) از شرکت صنایع لبنی پگاه خراسان، امولسیفایر E۴۷۱ از شرکت بلدم (Beldom Belgium ,company)، شیر خشک بدون چربی از شرکت پگاه، شکر و وانیل از فروشگاه لوازم قنادی، صمغ ریشه سریش بر اساس روش صلاحی و همکاران (Salahi *et al*., 2021) تهیه و خریداری شد.

تهیه صمغ ریشه سریش

در این پژوهش، شرایط بهینه استخراج صمغ ریشه سریش شامل دمای ۷۹ درجه سلسیوس، نسبت آب به ماده جامد ۳،۹۸ به ۱ (وزنی/وزنی)، و زمان ۳ ساعت و ۱۲ دقیقه تعیین شد که طبق بررسی صلاحی و همکاران (۲۰۲۱) حداکثر بازدهی و کیفیت صمغ را به همراه داشته است.

روش تهیه بستنی

مقدار ترکیبات موردنیاز برای نمونه معمولی (شاهد پرچرب) بر اساس منابع اولیه مشخص شد که شامل ۱۰ درصد چربی، ۱۱درصد

1- Over run

ماده جامد بدون چربی شیر، ۱۲ درصد شکر، ۰/۲۵ درصد پایدارکننده، ۰/۱۵ درصد امولسیفایر و ۰/۱ درصد وانیل بود و باتوجه‌به تعاریف برای بستنی با چربی کاهش‌یافته، کاهش ۷۵ درصد از چربی نمونه معمولی (۱۰ درصد چربی) تعیین گردید. در این رابطه تیمارهای مورد بررسی شامل مقدار چربی (۲/۵ درصد چربی: L) نوع صمغ (ریشه سریش (SRG)) غلظت صمغ (در چهار سطح ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ درصد) در مقایسه با نمونه شاهد پرچرب (۱۰ درصد چربی: F) است.

ابتدا مواد مایع شامل شیر و خامه ضمن حرارت دادن تا حداکثر ۵°C به‌صورت مداوم هم زده شد. پس از آن مخلوط مواد جامد (شکر و شیرخشک و صمغ و...) به مایع اضافه گردید و پس از حل‌شدن، به‌وسیله همزن به‌مدت سه دقیقه کامل مخلوط شد. مخلوط حاصل در دمای ۸۰°C به‌مدت ۲۵ ثانیه پاستوریزه و با هموژنایزر به‌مدت ۱ دقیقه با دور ۲۲۰۰۰ هموژن گردید و به حمام آب، نمک و یخ منتقل و تا دمای ۵۰°C سرد شد. سپس، جهت طی کردن مرحله رسیدن به‌مدت زمان ۲۴ ساعت در یخچال در دمای ۵ °C نگهداری شد. در نهایت آمیخته برای مرحله انجماد، به دستگاه بستنی‌ساز غیر مداوم به‌مدت ۱۵ دقیقه منتقل و نمونه‌ها در ظروف مخصوص دربدار ریخته و کدگذاری شد و حداقل به مدت‌زمان ۲۴ ساعت در فریزر ۱۸- °C قرار گرفت (Poursani *et al.*, 2021).

اندازه‌گیری ماده خشک

ماده خشک مخلوط بستنی پس از مرحله رسیدن در آون ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳/۵ ساعت تعیین شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری pH

پس از مرحله رسیدن بستنی، pH توسط دستگاه pH متر (3P86A pH meter 86505 Z m ,Instrument)، اندازه‌گیری شد (National Standard of Iran, No. 2852).

اندازه‌گیری دمای خروج از بستنی‌ساز

بعد از تهیه بستنی در دستگاه بستنی‌ساز و پیش از ریختن نمونه‌ها در ظروف مخصوص، دمای خروج بستنی سریعاً با استفاده از دماسنج دیجیتال در داخل ظرف مخصوص دستگاه اندازه‌گیری شد (Goff *et al.*, 1992).

اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم بستنی

اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم (درصد) بستنی با اندازه‌گیری وزن حجم مشخصی از بستنی پیش و پس از مرحله انجماد و تعیین درصد اختلاف آنها بر اساس رابطه‌ی (۱) محاسبه شد (Arbuckle, 1986).

$$=\left(\frac{Weight\ of\ ice\ cream\ mix - Weight\ of\ ice\ cream}{Weight\ of\ ice\ cream}\right)\times 100 \quad (۱)$$

(overrun) ضریب افزایش حجم بستنی

اندازه‌گیری سرعت ذوب بستنی

سرعت ذوب بستنی بعد از یک روز سفت‌شدن، اندازه‌گیری شد. مقادیر ذوب شده نمونه‌های ۵۰ گرمی بر روی توری فلزی قرار گرفت و وزن شد و در دمای محیط هر دو دقیقه ثبت شد. سپس با ترسیم نمودار از مقادیر تعیین شده در برابر زمان، شیب نمودار ($g\ min^{-1}$) به‌عنوان سرعت ذوب نمونه‌ها تعیین گردید (Arbuckle, 1986).

ارزیابی حسی

ارزیابان حسی شامل ۲۴ دانشجوی دانشگاه فردوسی مشهد در محدوده سنی ۳۰-۲۳ بودند. نمونه‌های تولیدی درون ظروف پلاستیکی قرار داده شد و از کدهای سه رقمی تصادفی برای نامگذاری نمونه‌ها استفاده گردید. نمونه‌ها بر اساس طرح مربع ویلیامز در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت. آزمون‌ها در مرکز پیشرفته ارزیابی حسی و شناختی دانشگاه فردوسی مشهد در غرفه‌های انفرادی، زیر نور سفید مصنوعی، در دمای محیط (۲۵°C) انجام شدند. برای انتخاب ویژگی‌های حسی جلسه اول به تولید واژگان و تعاریف مرتبط با ویژگی‌های طعم و بافت اختصاص داده شد؛ به این صورت که دو نمونه متفاوت به گروه ارزیاب حسی ارائه و از آنها خواسته شد تا تعریف خود را درباره هر یک از ویژگی حسی که حین مصرف محصول ادراک می‌شود، بیان کنند. سپس در یک جلسه بحث آزاد، گروه به توافق رسیدند. ارزیاب حسی در مورد بهترین توصیف برای هر یک از صفات حسی طبق جدول ۱ به توافق رسیدند.

آزمون‌های رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژیکی مخلوط را، پس از مدت‌زمان یک روز و با استفاده از دستگاه ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin ModelVisco 88, Bohlin instruments, UK) دارای سیرکولاتور حرارتی (Model F12-MC, Julabo Labortechnik, Germany Julabo,) در دمای ۰/۵ ± ۵ °C و درجه برش ($۱۴-۱۴۰۰ s^{-1}$) ارزیابی شد. انتخاب اسپیندل (کاپ و باب) مناسب بر اساس بررسی چشمی ویسکوزیته نمونه، تعیین و در نهایت از c_{52} استفاده شد (Akbari *et al.*, 2016). ویسکوزیته ظاهری آمیخته نیز در درجه برش ۵۰ s^{-1} به‌دلیل درجه برش مؤثر دهانی طی آزمایشات بررسی شد.

جدول ۱- تعاریف صفات حسی توافق شده توسط گروه ارزیاب حسی

Table 1- Definitions of sensory attributes agreed by the sensory evaluation group

تعاریف Definitions	صفات Attributes
نمونه دارای بافت نرم و یکنواخت است. Sample has a soft and uniform texture.	خامه‌ای Creaminess
طعم مشابه طعم ساکارز خالص در هنگام خوردن است. The taste is similar to that of pure sucrose when eaten.	شیرینی Sweetness
درک بافت صمغی و چسبنده که نسبتاً حالت جویدنی دارد. Understanding the gummy and sticky texture that is chewy state.	صمغیت Gumminess
احساس زبری در دهان ناشی از احساس تکه‌های یخ در نمونه. A rough feeling in the mouth due to the feeling of ice pieces in the sample.	زبری Roughness
احساس سردی در دهان بعد از قراردادن نمونه. Cold feeling in the mouth after placing the sample.	سردی Coldness
مقدار نیروی موردنیاز زبان برای صاف‌کردن نمونه بر روی کام. The amount of force required by the tongue to smooth the sample on the palate.	سفتی Hardness

رفتار جریان نمونه‌ها با مدل‌های قانون توان (۲)، هرشل بالکی (۳)، کاسون (۴)، بینگهام (۵) مقایسه شد. روابط آنها در ادامه آورده شده است:

$$\tau = (\gamma°)^n \quad (۱)$$

$$\tau = \tau_0^H + k(\gamma°)^n \quad (۲)$$

$$\tau = \sqrt{k°C} + k_c\sqrt{\gamma°} \quad (۳)$$

$$\tau = \tau_{0B} + \mu_B(\gamma°) \quad (۴)$$

آنالیز آماری

آزمایش‌ها حداقل در دو تکرار و به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت. نتایج در معرض آنالیز واریانس قرار گرفتند. از آزمون دانکن در سطح آماری ۹۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. برای مدل سازی داده‌های رئولوژیکی از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۸ و برای ترسیم منحنی‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

خواص رئولوژیکی آمیخته بستنی بعد از ۲۴ ساعت از زمان تولید و نگهداری در فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس، مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها ارزیابی شد و در ادامه رفتار جریانی نمونه‌های آمیخته بستنی با مدل‌های قانون توان، هرشل بالکی، کاسون، بینگهام مقایسه و مدل نهایی ارائه شده است.

ماده خشک

در جدول ۲ نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن تغییرات ماده خشک بستنی در نمونه‌های آمیخته بستنی بیان شده است. بررسی نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در غلظت‌های مختلف صمغ سریش، موجب تأثیر بر میزان ماده خشک نمونه‌های آمیخته بستنی نشده است ($P\geq0.05$) در استاندارد شماره ۱۱۹۰ سازمان ملی استاندارد ایران ذکر شده است که حداقل ماده خشک بستنی پرچرب باید ۳۲ درصد باشد که باتوجه‌به نتایج ارائه شده در جدول ۲ تمام نمونه‌ها بیش از ۳۲ درصد ماده خشک را داشته‌اند. در پژوهش انجام شده توسط کدی و همکاران (Cody *et al.*, 2007) مقدار ماده خشک نمونه‌های بستنی حاوی ۰/۴تا۱۰/۰۴ درصد چربی بین ۳۱/۳۱ تا ۴۱/۱۶ درصد گزارش گردید. در پژوهشی مشابه فرجی و همکاران (Faraji Kashefgari *et al.*, 2013) مقدار ماده خشک نمونه‌های بستنی کم‌چرب حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا را ۳۴ درصد بیان داشتند که تأثیر این متغیرها بر ماده خشک از نظر آماری معنی‌دار نبودند. کورت و همکاران (Kurt *et al.*, 2016) نیز تأثیر معنی‌داری را با افزایش غلظت صمغ کتیرا در ماده خشک نمونه‌های بستنی گزارش نکردند.

pH

در جدول ۳ نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن تغییرات pH در نمونه‌های آمیخته بستنی بیان شده است. همان گونه که در جدول نیز نشان داده شده است، افزودن صمغ ریشه سریش تأثیر معنی‌داری بر pHنمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد (بستنی پرچرب)، ایجاد نکرده است ($P\geq۰.۰۵$) pH مطلوب بستنی در محدوده‌ی ۶/۲–۶/۶ قرار دارد (Marshall, 2003). عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین pH نمونه‌ها در تحقیقات مشابه، توسط پورثانی و همکاران (Poursani *et al.*, 2021) و جاویدی و همکاران (Javidi *et al.*, 2016) و بیگی و همکاران (Beige *et al.*, 2019) نیز به ثبت رسیده است. در تحقیق دیگر انجام شده توسط پورثانی و همکاران (Poursani *et al.*, 2021) مشخص

گردید افزودن صمغ دانه بالنگو و پروتئین آب پنیر بر pH تأثیر معنی‌دار ندارد و مقدار pH را در حدود ۶/۳-۶/۶ گزارش نمودند. لو و همکاران (Lu *et al.*, 2014) نیز با افزودن آرد موز سبز تغییر معنی‌داری را بر pH نمونه‌های بستنی گزارش نکردند که این نتیجه احتمالاً به علت pH موز می‌باشد.

جدول ۲- ماده خشک آمیخته بستنی به‌عنوان تابعی از غلظت‌های مختلف صمغ

Table 2- The dry matter of the ice cream mixture as a function of different concentrations of gum

Sample code کد نمونه	ماده خشک Dry Matter
Control	$33.14^{a} \pm 0.02$
0.2%SRG	$32.51^{a} \pm 0.02$
0.3%SRG	$32.59^{a} \pm 0.01$
0.4%SRG	$32.65^{a} \pm 0.02$
0.5%SRG	$32.42^{a} \pm 0.05$

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P≥0.05) حروف کوچک مقایسه میانگین میان تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار)

Letters show significancy (same letters indicate no significant difference) lowercase letters show compare means

جدول ۳- pH آمیخته بستنی به‌عنوان تابعی از غلظت‌های مختلف صمغ

Table 3- pH of ice cream mixture as a function of different gum concentration

کد نمونه Sample code	pH
Control	$6.63^{a} \pm 0.01$
0.2%SRG	$6.35^{a} \pm 0.03$
0.3%SRG	$6.20^{a} \pm 0.00$
0.4%SRG	$6.62^{a} \pm 0.00$
0.5%SRG	$6.62^{a} \pm 0.01$

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P≥0.05) حروف کوچک مقایسه میانگین میان تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار)

Letters show significancy (same letters indicate no significant difference) lowercase letters show compare means

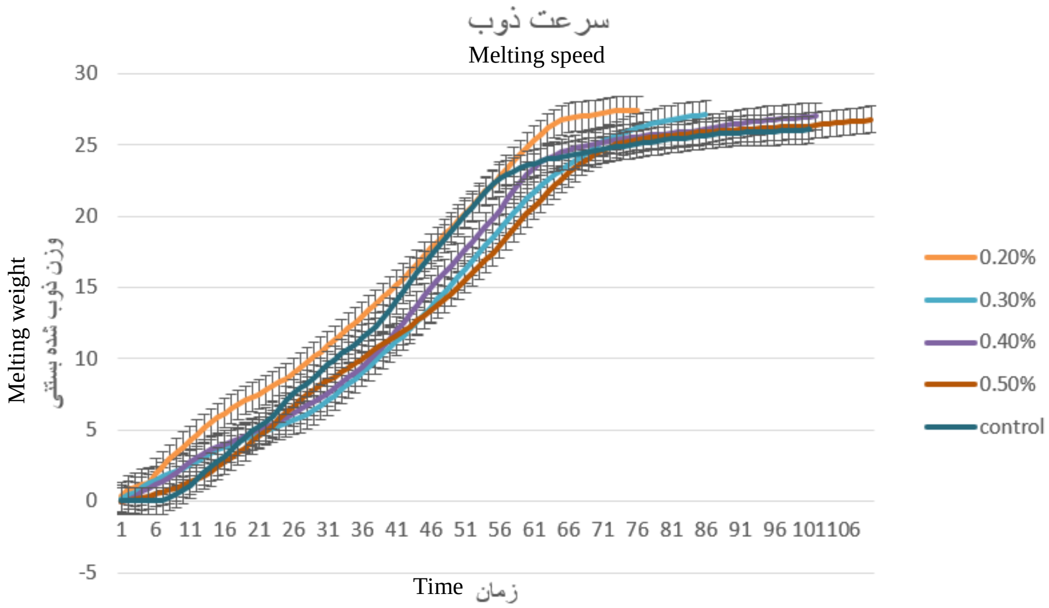
خواص فیزیکی

تغییرات دمای خروج از بستنی‌ساز

در شکل ۱ نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن تغییرات سرعت ذوب بستنی در نمونه‌های آمیخته بستنی آورده شده است. با بررسی تجزیه‌وتحلیل تغییرات سرعت ذوب تحت‌تأثیر غلظت‌های متفاوت صمغ سریش مشخص شد که سرعت ذوب تحت‌تأثیر معنی‌دار غلظت‌های صمغ ریش قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که نتایج آزمون دانکن نیز نشان داده است که میزان سرعت ذوب در نمونه‌ها با هم تفاوت آماری معنی‌داری را داشته است. بیشترین و کمترین سرعت ذوب به‌ترتیب مربوط به نمونه بستنی حاوی ۰/۲ درصد و نمونه ۰/۵ درصد صمغ ریشه سریش به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۲۸ بوده است. ذوب بستنی شامل پدیده‌های انتقال گرما و جرم است که در آن آب رسانایی حرارتی بالاتری نسبت به چربی دارد (Soukoulis *et al.*, 2008). ترکیبات مخلوط، ضریب قوام مخلوط، مقدار هوای موجود، حجم و ماهیت کریستال‌های یخ و شبکه گلبول‌های چربی بر ویژگی‌های ذوب تأثیر می‌گذارند (Javidi *et al.*, 2016). بطوری‌که ذرات چربی جامد ویسکوزیته ماتریس را افزایش و ازاین‌رو سرعت ذوب کاهش می‌یابد (Aziz, 2018)؛ لذا مقدار چربی در فرمولاسیون بستنی نقش مهمی دارد. کمپ و همکاران (Kemp *et al.*, 2018) گزارش کردند که بستنی با جایگزین‌های چربی و چربی کاهش‌یافته سریع‌تر ذوب می شود، که در نتیجه پذیرش مصرف‌کننده از خامه بودن را کاهش می دهد؛ با این وجود به کارگیری هیدروکلوئیدها در بستنی به‌عنوان تثبیت‌کننده مقاومت در برابر ذوب را بهبود می‌بخشند (Kemp *et al.*, 2018).

ازآنجایی‌که سرعت انتقال حرارت آب محصور شده کمتر از آب آزاد است (Akbari *et al.*, 2016)، سرعت ذوب نمونه‌های بستنی کم‌چرب، با افزایش مقدار صمغ ریشه سریش که موجب محصور شدن بیشتر آب آزاد می‌شوند منجر کاهش معنی‌دار سرعت ذوب نمونه‌های

بستنی کم‌چرب شدند. بهرام پرور و همکاران (Bahramparvar et al., 2013)، مشاهده کردند با افزایش سهم صمغ دانه ریحان، سرعت ذوب نمونه‌های بستنی کاهش یافت که این امر را می‌توان به ویسکوزیته و قدرت نگهداری آب بالاتر از آمیخته‌های تهیه شده از صمغ دانه ریحان نسبت دادند (Bahramparvar et al., 2013). لیم و همکاران (Lim et al., 2010) دریافتند که افزودن جایگزین چربی کربوهیدراته، میزان سرعت ذوب نمونه‌های مربوطه را کاهش داد و به مقدار این خصوصیت در نمونه شاهد (پرچرب) نزدیک کرد، در این باره می‌توان به ظرفیت بالای صمغ‌ها برای اتصال به آب موجود در فرمولاسیون اشاره کرد (Lim et al., 2010).



شکل ۱- سرعت ذوب نمونه‌های بستنی به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ ریشه سریش در مقایسه با نمونه شاهد پرچرب (شاهد)

Fig. 1. The melting speed of the ice cream samples of the title as a function of the different percentages of the root gum in comparison with the high-fat control sample

خواص حسی

با بررسی تجزیه‌وتحلیل واریانس امتیازات پذیرش کلی بستنی تحت‌تأثیر غلظت‌های متفاوت صمغ ریشه سریش مشخص شد که امتیازات پذیرش کلی بستنی تحت‌تأثیر معنی‌دار غلظت‌های صمغ سریش قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که نتایج آزمون دانکن نیز نشان داده است که امتیازات پذیرش کلی در برخی نمونه‌ها با هم تفاوت آماری معنی‌داری را داشته است. بیشترین و کمترین پذیرش کلی بستنی به‌ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه بستنی حاوی ۰٫۲ درصد صمغ سریش بوده است.

جدول ٤- داده‌های مربوط به آزمون پذیرش کلی تحت‌تأثیر تیمار مستقل غلظت صمغ

Table 4- Data related to general acceptance test under the influence of independent treatment of gum concentration

کد نمونه Sample code	پذیرش کلی General admission
Control	7.63^{a}
0.2%SRG	6.15^{d}
0.3%SRG	7.56^{a}
0.4%SRG	7.17^{b}
0.5%SRG	6.45^{c}

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P≥0.05) حروف کوچک مقایسه میانگین میان تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار)

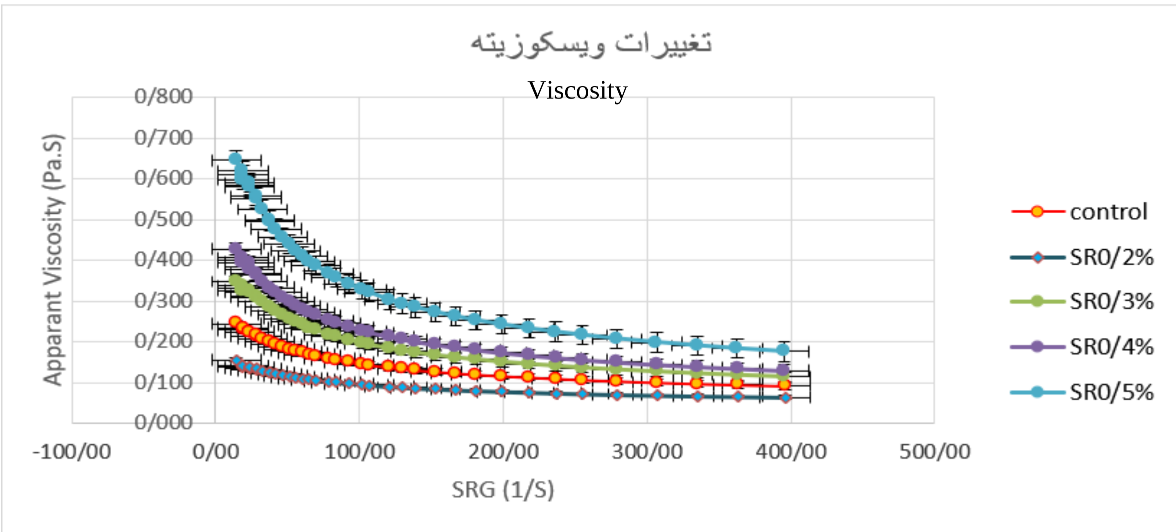
Letters show significancy (same letters indicate no significant difference) lowercase letters show compare means

خواص رئولوژیکی

رفتار جریان

نتایج آزمون رفتار جریانی بستنی شاهد (بدون صمغ سریش) نشان می‌دهد که نمونه‌های بستنی به‌طور کلی رفتار شل شونده با برش داشته و با افزایش سرعت برش، ویسکوزیته نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد با اضافه کردن ۰/۲درصد صمغ سریش به بستنی کم‌چرب، خصوصیت سودوپلاستیک بستنی کاهش‌یافته اما با افزایش درصد صمغ سریش، خاصیت شل‌شوندگی آنها افزایش یافت به نحوی که ویسکوزیته نمونه حاوی ۰/۵ درصد سریش با افزایش سرعت برش بیش از سایر نمونه‌ها کاهش یافت. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، به‌طور کلی ویسکوزیته تمام نمونه‌ها با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد (بجز نمونه حاوی ۰/۲ درصد سریش). دلیل افزایش ویسکوزیته در اثر افزودن صمغ را می‌توان به ماهیت آبدوست سریش نسبت داد (Amiri Eghdaie *et al.*, 2012). پودر سریش مستخرج از غده‌های ریشه‌ای سریش *Eremurus luteus* بوده و حاوی ترکیبات مختلفی از جمله پروتئین (۶/۲۲ درصد)، کربوهیدرات (۸۶/۴۵ درصد) و اسیدهای اورونیک (۸/۶ درصد) است. کربوهیدرات‌های موجود در صمغ این گیاه می‌توانند مقادیر زیادی آب به خود جذب کرده و جزو هیدروکلوئیدها دسته‌بندی می‌شوند (Salahi *et al.*, 2021) علاوه بر کربوهیدرات‌های مختلف از جمله گالاکتومانان، اینولین نیز بخش زیادی از محتوای مواد جامد پودر سریش را تشکیل می‌دهد.

گزارش شده است که پلیمرهای گالاکتومانان که وزن مولکولی بالایی دارند از قانون ویسکوزیته نیوتن تبعیت نمی‌کنند. در مقابل، رفتار شل‌شونده با برشی یا شبه پلاستیک را نشان می‌دهند، یعنی ویسکوزیته آنها با افزایش نرخ برش کاهش می‌یابد (Shahrampour *et al.*, 2023). افزایش ویسکوزیته در نتیجه افزودن صمغ به سیستم را از نقطه‌نظر فیزیکوشیمیایی می‌توان به درهم رفتن زنجیره‌های بلند هیدروکلوئید، و درنتیجه افزایش حجم هیدرودینامیک این مولکول‌ها در محلول‌های با پایه آب یا شیر مرتبط دانست (Alghuna *et al.*, 2015). در حقیقت، در طول فرآیند تولید بستنی، کریستال‌های ناشی از هیدروکلوئیدها دانه‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند که آب را جذب کرده و شاخص ویسکوزیته بستنی را افزایش می‌دهد (Javidi *et al.*, 2018). این امر به‌دلیل وجود مولکول‌های بزرگ در درجه برش‌های پایین و سپس همسو شدن آن‌ها با جریان و نیز کوچک‌شدن برخی مولکول‌ها در اثر از بین‌رفتن پیوندهای شبه مولکولی و در نتیجه کاهش مقاومت درونی ناشی از افزایش درجه برش، چنین رفتاری دیده شده است (Poursani *et al.*, 2021). ازآنجایی‌که بیشترین اتصالات مولکولی در ابتدای افزایش درجه برش شکسته می‌شوند، کاهش ویسکوزیته ظاهری در ابتدا سریع‌تر بود؛ اما به‌تدریج کاهش می‌یابد و تقریباً ثابت می‌شود (Javidi *et al.*, 2016, Bahramparvar *et al.*, 2011).



شکل ۲- تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های آمیخته بستنی کم‌چرب حاوی درصدهای مختلف صمغ ریشه سریش در مقایسه با نمونه شاهد (پرچرب) در دمای 5±5°C

Fig. 2. Changes in the apparent viscosity of the low-fat ice cream mix samples containing different percentages of *Eremurus* root gum compared to the control (high-fat) sample at a temperature of 5±5 °C

انتخاب مدل رئولوژیکی مناسب

باتوجه‌به غیرنیوتنی بودن تمامی نمونه‌های آمیخته بستنی، در این تحقیق از چهار مدل رئولوژیکی مستقل از زمان متداول شامل قانون توان، هرشل–بالکی، کاسون و بینگهام برای مدل‌سازی و توصیف رفتار جریان نمونه‌ها آمیخته بستنی استفاده شد. برای انتخاب بهترین مدل آماره‌های ضریب تبیین R^2 و میانگین مجذورات خطا (RMSE) برای هر مدل محاسبه شدند. در این بین مدلی که بالاترین ضریب تبیین و کمترین میانگین مجذورات خطا را دارا باشد به‌عنوان بهترین مدل در نظر گرفته می‌شود. آنالیز رفتار جریانی نمونه‌ها نشان می‌دهد که در بین مدل‌های بررسی شده، مدل قانون توان یا پاورلا بیشترین مطابقت را با رفتار جریانی نمونه‌ها داشته است ($R^2 = 0.9997$) پس از آن نیز مدل کاسون در درجه دوم توانست رفتار جریانی نمونه‌ها را توصیف کند ($R^2 = 0.99415$) این مدل‌ها برتر از مدل بینگهام ارزیابی شدند. مدل هرشل بالکی نیز به‌دلیل وجود مقادیر منفی تنش تسلیم قادر به توصیف رفتار جریان نمونه‌ها نبود، بدین‌ترتیب از ذکر نتایج آن صرف نظر گردید. جاویدی و همکاران و پورثانی و همکاران (Poursani *et al.*, 2021, Javidi *et al.*, 2016) نیز به‌دلیل وجود مقادیر منفی تنش تسلیم در رفتار جریان نمونه‌های کره پسته کم‌کالری، نمونه‌های آمیخته بستنی کم‌چرب و نیم‌چرب این مدل را نامناسب ارزیابی کردند. در پژوهش دیگری که توسط مارشال و همکاران (Marshal *et al.*, 2003) روی کنسانتره شیر پس چرخ منجمد روی خواص فیزیکی، شیمیایی، ساختاری و رئولوژیکی بستنی انجام شد گزارش گردید که دو مدل قانون توان و کاسون بهتر از سایر مدل‌ها رفتار جریانی نمونه‌های بستنی را منعکس می‌کنند که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر، مشابهت داشت (Marshal *et al.*, 2003). دلیل رفتار سودوپلاستیک بستنی را می‌توان جهت‌گیری ذرات بستنی در جهت برش نسبت داد. به بیان بهتر، در سرعت‌های برشی پایین، مولکول‌های مختلف موجود در بستنی به‌صورت نامنظم آرایش یافته‌اند و هم راستایی چندانی بین آنها وجود ندارند. این شرایط باعث می‌شود که در ابتدای امر ویسکوزیته نمونه بالا باشد (نمونه ۰/۵درصد صمغ در برابر نمونه ۰/۲درصد و شاهد-شکل ۱). با این حال با افزایش سرعت همزدن (سرعت برش)، این مولکول ها در راستای همدیگر قرار گرفته و در نتیجه ویسکوزیته آن به سرعت کاهش می‌یابد. رفتار سودوپلاستیک بستنی در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Poursani *et al.*, 2021).

پارامترهای رئولوژیکی

جدول ۵- مقادیر ضریب تبیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) مدل‌های رئولوژیکی

Table 5- Values of explanation coefficient (R^2) and root mean square error (RMSE) of rheological models

Sample code کد نمونه	قانون توان		Herschel Barkley هرشل بارکلی		Bingham بینگهام		کاسون	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
Control	0.1641	0.9997	0.0743	0.9999	1.2875	0.9815	0.7329	0.9941
0.2%SRG	0.4865	0.9998	0.0657	0.9999	0.7570	0.9875	0.4221	0.9961
0.3%SRG	0.3490	0.9992	0.1379	0.9998	1.9550	0.9724	0.7391	0.9902
0.4%SRG	0.3779	0.9992	0.1223	0.9999	2.2725	0.9705	1.3490	0.9896
0.5%SRG	0.5822	0.9989	0.1696	0.9999	3.3725	0.9640	1.0015	0.9938

جدول ٦- پارامترهای مدل توان برای آمیخته بستنی به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

Table 6- Power model parameters for ice cream mix as a function of different gum percentages

Sample code کد نمونه	R^2	$K_p(pa.s^n)$		$n_p(-)$	
		Average میانگین	Standard deviation انحراف معیار	Average میانگین	Standard deviation انحراف معیار
Control	0.9997	1.2344^b	0.046	0.6703^b	0.004
0.2%SRG	0.9998	0.3472^c	0.061	0.7190^a	0.009
0.3%SRG	0.9991	1.1535^b	0.113	0.6341^c	0.057
0.4%SRG	0.9992	1.4255^b	0.171	0.6175^c	0.012
0.5%SRG	0.9989	2.2605^a	0.206	0.5604^d	0.011

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است ($P \geq 0.05$) حروف کوچک مقایسه میانگین میان تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار)

Letters show significancy (same letters indicate no significant difference) lowercase letters show compare means

جدول ۷- پارامترهای مدل کاسون برای آمیخته‌های بستنی به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

Table 7- Casson model parameters for ice cream mixes as a function of different gum percentages

Sample code کد نمونه	R^2	$\tau_{0c}\,(Pa)$		$\mu c(Pa.s)$	
		Average میانگین	Standard deviation انحراف معیار	Average میانگین	Standard deviation انحراف معیار
Control	0.9941	3.0676^{b}	0.171	0.0596^{c}	0.002
0.2%SRG	0.9961	0.8154^{c}	0.155	0.0450^{d}	0.035
0.3%SRG	0.9902	2.9902^{b}	0.303	0.675^{bc}	0.002
0.4%SRG	0.9896	3.7080^{b}	0.453	0.0742^{b}	0.074
0.5%SRG	0.9938	6.7076^{a}	0.045	0.0954^{a}	0.091

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P≥0.05) حروف کوچک مقایسه میانگین میان تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار)

Letters show significancy (same letters indicate no significant difference) lowercase letters show compare means

شاخص رفتار جریان

توان n در معادله قانون توان $\tau= k(\gamma^{\circ})^{n}$ شاخص رفتار جریان نامیده می‌شود و در سیالات شل‌شونده با برش n < 1 و برای سیالات غلیظ‌شونده با برش n > 1 است. باتوجه به مقدار n در جدول ۷، شاخص رفتار جریان نمونه‌های مختلف بستنی با درصدهای مختلف صمغ ریشه سریش و نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفت. ملاحظه می شود که در نمونه‌های مورد آزمایش، هر چه مقدار درصد صمغ سریش افزایش می‌یابد (به جز نمونه ۰/۲ درصد) مقدار شاخص رفتار جریان کاهش یافت، که این بدین معناست که چون هر چه مقدار n کم‌تر باشد، رفتار سیال سودوپلاستیک‌تر بوده و تفاوت آن با حالت نیوتنی بیشتر است که در این پژوهش نیز با افزایش مقدار سریش (به جز نمونه ۰/۲ درصد) رفتار بستنی حالت شل‌شونده با برش بیشتری پیدا کرد (Salahi *et al.*, 2022).

همین‌طور صلاحی و همکاران (Salahi *et al.*, 2022)، در مطالعه برروی صمغ ریشه سریش مدل پاورلا را بهترین مورد جهت توصیف رفتار جریانی این صمغ دانستند، بنابراین براین اساس بستنی حاوی این صمغ نیز، از این مدل رفتار پیروی خواهد کرد. همچنین مدل توان در محدوده نرخ برشی تعیین شده توصیف دقیقی از رفتار جریان نشان می‌دهد (Salahi *et al.*, 2022)، درحالی‌که مدل‌هایی مثل کاسون از تنش تسلیم برحسب ویسکوزیته پلاستیک بستنی استفاده می‌شود (Poursani *et al.*, 2021). در همین راستا سقایی شهری و همکاران (Saghaei *et al.*, 2014) نتایج مشابهی با این پژوهش با افزودن صمغ شاهی به نمونه‌های بستنی (۰/۱ تا ۰/۴٪) بدست آوردند، به‌نحوی‌که شاخص جریان به نسبت افزایش میزان صمغ، کاهش یافت.

درمجموع گفته می‌شود که محلول‌های حاوی صمغ با مقدار n بیشتر، در دهان حس لزجی ایجاد می‌کنند که این ویژگی بستنی برای مصرف‌کننده مطلوب نیست. درمقابل ویسکوزیته بیشتر و شاخص رفتار جریان کمتر، احساس دهانی مطلوبی را ایجاد می کند (مانند نمونه حاوی ۰/۵٪ سریش در برابر نمونه شاهد یا ۰/۲٪ درصد صمغ سریش) (SZCZESNIAK & Kahn, 1984) بنابراین طبق برازش با مدل پاورلا و یا قانون توان، بستنی حاوی ۰/۵٪ صمغ سریش احتمالاً مطلوب‌ترین خصوصیات دهانی را داراست.

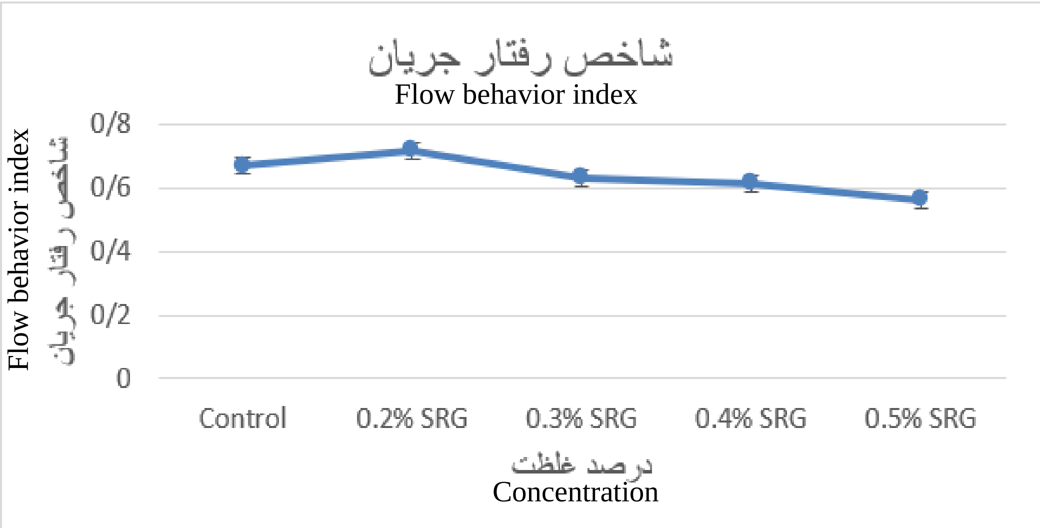
در این بررسی مقدار شاخص جریان بررسی گردید، پورثانی و همکاران (Poursani *et al.*, 2021) نیز با بررسی بستنی‌های بدون چربی، نیم‌چرب و کم‌چرب مقدار این ویژگی را بین ۰/۴۳ تا ۰/۶۶۱ گزارش کردند. طبق گزارش گاف و داوینسون (Goff & Davidson, 1992)، شاخص رفتار جریان (n) در قانون توان برای نمونه‌های بستنی حدود ۰،۷ است. این پارامتر در مطالعه ما بین ۰/۵۶۴۵(نمونه حاوی ۰/۵درصد سریش) و ۰/۷۱۹ (نمونه حاوی ۰/۲درصد سریش)، به‌دست آمد که با یافته‌های این محققان مشابهت داشت (Poursani *et al.*, 2021).

ضریب قوام

ضریب قوام معیاری برای تعیین طبیعت ویسکوز مواد غذایی و شاخص بزرگی ویسکوزیته ظاهری است (Aziz *et al.*, 2018). اما تفاوت آن با ویسکوزیته ظاهری این است که ضریب قوام، مربوط به دامنه‌ای از درجات برش است؛ اما ویسکوزیته ظاهری در یک درجه برش مشخص اندازه‌گیری می‌شود (Poursani *et al.*, 2021). برای سیالات نیوتنی (n=1) ضریب k در قانون توان ضریب قوام نامیده می‌شود و معیاری برای تعیین ماهیت ویسکوز مواد غذایی است. همچنین این ضریب می‌تواند شاخص بزرگی ویسکوزیته ظاهری نیز باشد (Rao *et al.*, 2010).

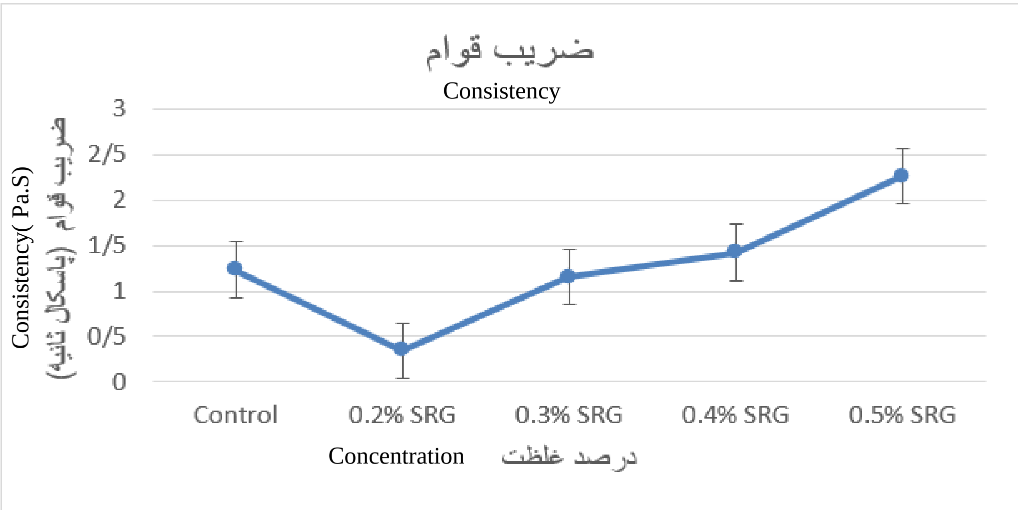
نتایج نشان داد که با افزودن صمغ سریش به آمیخته بستنی، ضریب قوام به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. مقدار این ضریب برای

نمونه شاهد و نمونه حاوی ۰/۵ درصد صمغ سریش به‌ترتیب برابر با ۱/۲۳۴۶ و ۲/۲۶۰۵ بود. افزایش مقدار ضریب قوام با افزودن صمغ را می‌توان به وجود مولکول‌های بزرگ و منشعب هیدروکلوئیدهای موجود در سریش نسبت داد که باعث می‌شوند بستنی در برابر تنش برشی مقاومت کند. این مولکول‌ها با پیوند با آب موجود درآمیخته و تشکیل ژل چنین نقشی را ایفا می‌کنند، در همین راستا، الغونه و همکاران (Alghuna *et al*., 2015)، گزارش کردند که با افزودن پایدارکننده کنجاک گلوکومانان به بستنی، مقدار ضریب قوام به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از کار ما مطابقت داشت. الغونه و همکاران مشاهده کردند تمامی فرمولاسیون‌های حاوی پایدارکننده هیدروکلوئیدی به‌وضوح دارای مقادیر بالاتری شاخص قوام نسبت به فرمولاسیون‌های بدون پایدارکننده بود (Alghuna *et al*., 2015).



شکل ۲- تغییر شاخص رفتار جریان آمیخته‌های بستنی به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

Fig. 2. Change in the flow behavior index of ice cream mixes as a function of different percentages of gum



شکل ۳- تغییرات ضریب قوام آمیخته‌های بستنی به‌عنوان تابعی از غلظت‌های مختلف صمغ

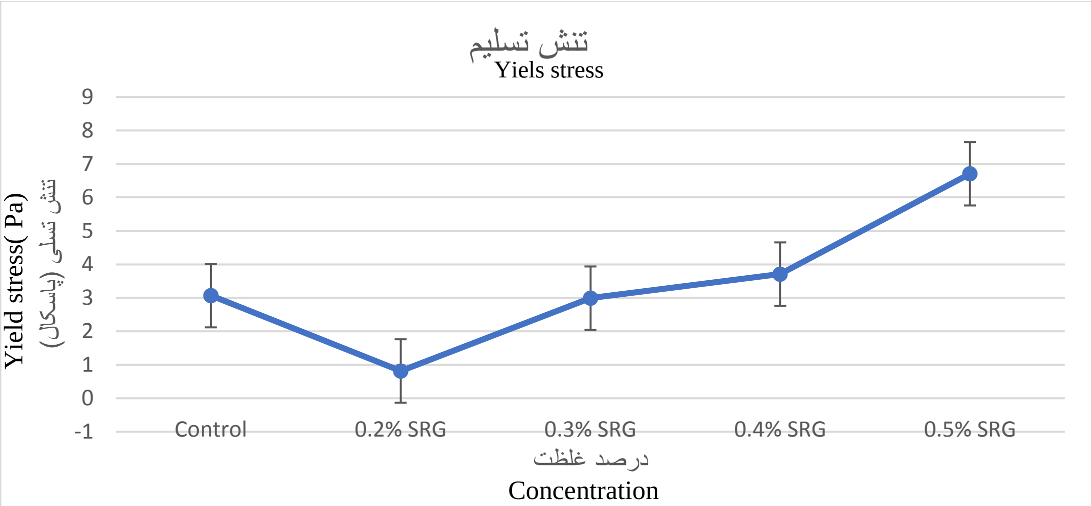
Fig. 3. Variations in the consistency coefficient of ice cream mixes as a function of different concentrations of the gum

تنش تسلیم

تنش تسلیم حداقل تنش لازم برای شروع جریان ماده است. دانستن تنش تسلیم جهت طراحی فرآیندهای غذایی و ارزیابی حسی مفید می‌باشد. در شکل ۲ برازش مدل کاسون برای نمونه‌های بستنی نشان داد که با افزایش غلظت سریش، تنش تسلیم (τ_0) نمونه‌های بستنی به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. کمترین مقدار تنش تسلیم

مربوط به نمونه‌ی حاوی ۰/۲ درصد جایگزینی صمغ ریشه سریش pa ۰/۸۱۵۴و بالاترین مقدار تنش تسلیم مربوط به ۰/۵ درصد جایگزینی صمغ ریشه سریش pa ۶/۷۰۷۶ است. باتوجه‌به آنالیز واریانس در نمونه های ۰,۲ درصد و ۰,۴ درصد جایگزینی صمغ ریشه سریش و نمونه شاهد (پرچرب) تفاوت معناداری دیده نشد.

در بستنی با چربی کاهش‌یافته، مقدار تنش تسلیم کاهش می‌یابد درحالی‌که با افزایش حضور ترکیبات با وزن مولکولی بالا صمغ ریشه سریش به‌دلیل افزایش قابلیت اتصال به آب آنها مقدار تنش تسلیم افزایش می‌یابد. کاهش تنش تسلیم در تیمار حاوی ۰/۲ درصد سریش نسبت به شاهد را نیز می‌توان باتوجه‌به این مطلب تفسیر کرد. به بیان بهتر، در نمونه شاهد که میزان چربی در حد استاندارد است، مقدار تنش تسلیم بالاتر است، اما با حذف چربی و جایگزین کردن آن با ۰/۲ درصد صمغ سریش، تنش تسلیم کاهش می‌یابد زیرا این مقدار صمغ در محیط آبی به اندازه‌ای زیاد نیست که بتواند با تمام آب موجود در محیط اتصال برقرار کرده و ویسکوزیته و درنتیجه تنش تسلیم را افزایش دهد. در همین راستا، (Poursani *et al.*, 2021). نیز گزارش کردند که حذف چربی از مخلوط بستنی منجر به افزایش مقدار فاز مایع و در نتیجه کاهش مقاومت در برابر جریان می‌شود که با نتایج حاصل از کار ما مطابق داشت.



شکل ٤- تغییرات تنش تسلیم نمونه‌های آمیخته بستنی به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

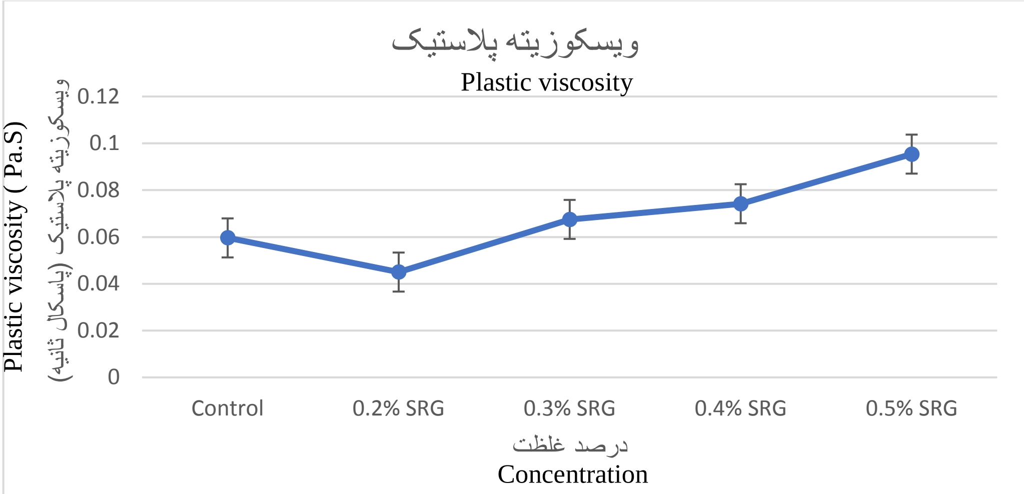
Fig. 4. Variations in yield stress of mixed ice cream samples as a function of different percentages of gum

ویسکوزیته پلاستیک

تفاوت تنش تسلیم و ویسکوزیته پلاستیک در جریان‌یافتن مواد است به‌طوری تنش تسلیم نیروی لازم برای به حرکت در آمدن مواد اما ویسکوزیته پلاستیک جهت حفظ جریان است (Rao *et al.*, 2010). برازش مدل کاسون برای نمونه‌های بستنی نشان داد که با افزایش غلظت صمغ ریشه سریش، ویسکوزیته کاسون (τ_c) نیز هم راستا با تنش تسلیم افزایش می‌یابد (به جز نمونه حاوی ۰/۲ درصد) و این افزایش معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵). کاهش مقدار ویسکوزیته در تیمار حاوی ۰/۲ درصد صمغ ریشه سریش نسبت به شاهد را می‌توان درنتیجه حذف چربی دانست زیرا این مقدار صمغ در محیط آبی به اندازه ای زیاد نیست که بتواند با تمام آب موجود در محیط اتصال برقرار کند، لذا وجود مقدار آب بالا و چربی و ماده خشک پایین در محیط سبب می شود که ویسکوزیته پلاستیک یا ویسکوزیته کاسون کاهش یابد. در مقابل، با افزایش غلظت صمغ در محیط و به دام افتادن آب بیشتر در این هیدروکلوئید، ویسکوزیته پلاستیک افزایش می‌یابد.

ویسکوزیته کاسون

جهت مقایسه ویسکوزیته نمونه‌های تیمار شده با شاهد، این پارامتر در درجه برشی حدود $۵۰s^{-1}$ و دمای ۵ ℃±۰/۰۵ یکدیگر مقایسه شد. علت انتخاب این سرعت برشی این بود که با سرعت پمپ کردن بستنی در در عملیات صنعتی تقریبا مشابهت دارد (Saghaei *et al.*, 2014). به‌طور کلی در صنایع غذایی محاسبه ویژگی‌های رفتار جریان از جهت کنترل تولید و کیفیت محلول های هیدروکلوئیدی و توسعه محصول اهمیت داشته و در نتیجه می‌توان گفت که این پارامترها بر ترجیح مصرف‌کننده نیز مؤثر هستند (Kemp, 2018).



شکل ۵- تغییرات ویسکوزیته پلاستیک به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

Fig. 5. Changes in plastic viscosity as a function of different percentages of serish root gu

باتوجه به جدول ۸ زیر کاملاً مشخص است که ویسکوزیته تمام نمونه‌ها با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد (به‌جز نمونه حاوی ۰/۲ درصد سریش). دلیل افزایش ویسکوزیته در اثر افزودن صمغ را می‌توان به آبدوست بودن صمغ سریش و توانایی آن برای به دام انداختن آب و تولید یک شبکه ژلی در بستنی نسبت داد (Amiri *et al.*, 2012). امیری عقدایی و همکاران (Amiri Eghdaei *et al.*, 2012)، یکی از دلایل بالاتر بودن ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های بستنی کم‌چرب و بدون چربی را نسبت به نمونه پر چرب، وجود جایگزین‌های چربی کربوهیدارته ذکر کردند. حذف چربی همان‌طور که در نمونه حاوی ۰/۲ درصد صمغ ریشه سریش مشاهده شد باعث کاهش ویسکوزیته ظاهری نمونه آمیخته بستنی شد، اما با افزودن صمغ در نقش جایگزین چربی و افزایش مقدار آن به ۰/۳ تا ۰/۵ درصد اثر مذکور جبران گردید و باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های آمیخته بستنی گردید. می‌توان گفت علت افزایش ویسکوزیته ظاهری در نمونه‌های آمیخته بستنی کم‌چرب اجتماع پروتئین در طول زمان رسیدن باشد (Poursani *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری

با افزودن صمغ و افزایش غلظت آن، ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام، تنش تسلیم، و ویسکوزیته پلاستیک افزایش یافتند. در بخش ارزیابی حسی، ویژگی‌های خامه‌ای بودن، شیرینی، صمغیت، زبری، سردی و سختی توسط آزمون احساس غالب گذرا بررسی شدند و این تغییرات در اکثر موارد معنی‌دار بودند. ویژگی‌های صمغیت، خامه‌ای بودن، شیرینی و سفتی افزایش یافتند، درحالی‌که زبری و سردی کاهش یافتند. همچنین، نمونه حاوی ۰٫۳٪ صمغ دارای بیشترین پذیرش کلی پس از نمونه شاهد نسبت به دیگر نمونه‌ها بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که این متغیرها توانایی شبیه‌سازی خصوصیات رئولوژیکی (ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام، تنش تسلیم و ویسکوزیته پلاستیک)، سرعت ذوب و ویژگی‌های حسی نظیر خامه‌ای بودن، زبری، سرمازایی، صمغیت، سفتی و پذیرش کلی نمونه شاهد پرچرب را داشتند که به‌عنوان عوامل مؤثر بر فرآیند تولید بافت و احساس دهانی فرآورده در بستنی‌های کم‌چرب عمل کردند. از طرفی، به دلیل عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین داده‌های به‌دست‌آمده از آزمون‌های اندازه‌گیری pH و مقدار ماده خشک، قابلیت کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی مذکور به‌عنوان جایگزین چربی تأیید می‌شود. در مجموع، از میان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده، می‌توان نمونه حاوی ۰٫۲٪ صمغ را به‌عنوان جایگزین مناسب برای تولید بستنی کم‌چرب پیشنهاد داد.

میزان مشارکت نویسندگان

فاطمه سبزمیدانی: انجام آزمایشات و استخراج داده‌ها، **مسعود تقی زاده:** مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، نظارت، بررسی و ویرایش، **محمدصالح همتی:** پیش¬نویس اصلی

منابع تأمین مالی

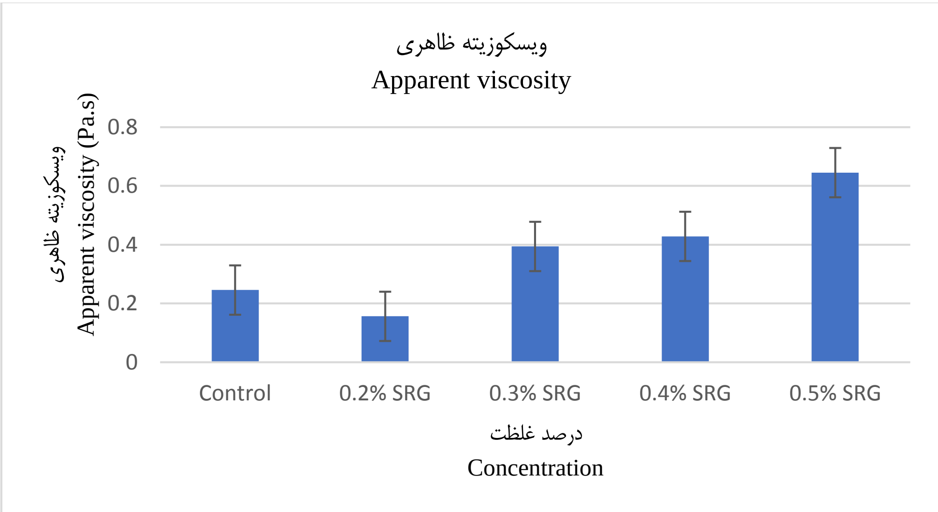
بودجه این کار توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد پشتیبانی مالی شد.

جدول ۸- ویسکوزیته ظاهری در سرعت برش s^{-1}۵۰و دمای ۵ درجه سلسیوس آمیخته بستنی به‌عنوان تابعی از غلظت‌های مختلف صمغ

Table 8- Apparent viscosity at cutting speed of 50 s^{-1} and temperature of 5 degrees Celsius of ice cream mixture as a

Apparent viscosity (Pa.s) ویسکوزیته ظاهری		Standard deviation انحراف معیار
Control	0.2457^{a}	0.1221
0.2%SRG	0.1562^{d}	0.2456
0.3%SRG	0.3941^{c}	0.1423
0.4%SRG	0.4284^{b}	0.313
0.5%SRG	0.6454^{a}	0.201

function of different gum concentrations



شکل ٦- تغییرات ویسکوزیته ظاهری به‌عنوان تابعی از درصدهای مختلف صمغ

Fig. 6. Changes in apparent viscosity as a function of different percentages of gum

References

1. Akbari, M., Eskandari, M.H., Niakosari, M., & Bedeltavana, A. (2016). The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, *57*, 52–55. https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2016.02.040
2. Al-Ghouna, A., Mohabi, M., Mir Arab, S., & Khodayi, D. (2015). The effect of feromulsion compounds on the sensory properties of low-fat ice cream using the response surface method and using the principal component analysis method to model overall acceptance. *Quarterly Journal of Science and Food Industries*, *53*. (In Persian)
3. Amiri Eghdaei, Q.S., Scientific, M., Rezaei, R., Dadpur, M., & Khmeri, M. (2012). The effect of the mucilage of basil and asparagus seeds on the physicochemical, rheological and sensory characteristics of soft ice cream. *Research and Innovation in Food Science and Industry*, *1*(1). (In Persian with English abstract).
4. AOAC. (2005). Official methods of analysis. In L. G. W. (Ed.) , 18th ed. Matyland: AOAC International Arbuckle, W. S. Wendell S. (1986). Ice cream (2rd Edition (ed.)). The AVI Publishing Company; INC; Westport. Arbuckle, W.S. 1997. Ice cream, third edition, AVI publishing company, inc, Westport, Connenticut, page 242. https://doi.org/10.1002/star.19620140509
5. Aziz, N.S., Sofian-Seng, N.S., Yusop, S.M., Kasim, K.F., & Razali, N.S.M. (2018). Functionality of Okra gum as a novel carbohydrate-based fat replacer in ice cream. *Food Science and Technology Research*, *24*(3), 519–530. https://doi.org/10.3136/FSTR.24.519
6. Bahramparvar, M., & Tehrani, M.M. (2011). Application and functions of stabilizers in ice cream. *27*(4), 389–407. https://doi.org/10.1080/87559129.2011.563399

7. Bahramparvar, M., & Goff, H.D. (2013). Basil seed gum as a novel stabilizer for structure formation and reduction of ice recrystallization in ice cream. *Dairy Science and Technology*, *93*(3), 273–285. https://doi.org/10.1007/S13594-013-0122-9

8. Beigi, M., & Jahanbin, K. (2019). A water-soluble polysaccharide from the roots of *Eremurus spectabilis* M. B. subsp. *spectabilis*: Extraction, purification and structural features. *International Journal of Biological Macromolecules*, *128*, 648–654. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.01.178

9. Cody, T.L., Olabi, A., Pettingell, A.G., Tong, P.S., & Walker, J.H. (2007). Evaluation of rice flour for use in vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, *90*(10), 4575–4585. https://doi.org/10.3168/JDS.2006-531

10. Faraji Kashefgari, S., A'alami, M., Khamiri, M., & Motamedzadegan, A. (2013). Use of protein-based fat substitutes in the production of low-fat ice cream, Second National Conference on Food Science and Technology, Quchan, https://civilica.com/doc/205883

11. Goff, H.D., & Davidson, V.J. (1992). Flow characteristics and holding time calculations of ice cream mixes in HTST holding tubes. *Journal of Food Protection*, *55*(1), 34-37. https://doi.org/10.4315/0362-028x-55.1.34

12. Goff, H.D., & Hartel, R.W. (2013). Ice cream structure. *Ice Cream*, 313–352. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_11

13. Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T., Razavi, S.M.A., & Mortazavi, S.A. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, *101*(3), 236–243. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.025

14. Iranian Dairy Products Industry Association, (2019) (ht://ir-dis.org/fa.) (In Persian)

15. Javidi, F., Razavi, S.M.A., Behrouzian, F., & Alghooneh, A. (2016). The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, *52*, 625–633. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.08.006

16. Javidi, F., & Razavi, S.M.A. (2018). Rheological, physical and sensory characteristics of light ice cream as affected by selected fat replacers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(3), 1872–1884. https://doi.org/10.1007/S11694-018-9801-9

17. Kemp, S.E., Hort, J., Hollowood, T., Kemp, S.E., & Hollowood, T. (2017). Time-dependent measures of perception in sensory evaluation. https://doi.org/10.1002/9781118991640

18. Kurt, A., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2016). The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salepbased ice cream mix. *Carbohydrate Polymers*, *143*, 116–123. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.02.018

19. Lim, J., Inglett, G.E., & Lee, S. (2010). Response to consumer demand for reduced-fat foods; Multi-functional fat replacers. *Japan Journal of Food Engineering*, *11*(4), 147–152. https://doi.org/10.11301/JSFE.11.147

20. Liu, R., Wang, L., Liu, Y., Wu, T., & Zhang, M. (2018). Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heatshearing treatment. *Food Hydrocolloids*, *81*, 39–47. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.01.031

21. Lu, J., Pua, X.H., Liu, C., Te, Chang, C.L., & Cheng, K.C. (2014). The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant. *Journal of Food and Drug Analysis*, *22*(3), 391–398. https://doi.org/10.1016/J.JFDA.2013.09.049

22. Marshall, R.T., Goff, H.D., & Hartel, R.W. (2003). *Ice cream*, (3rd ed.). New York: Aspen 507 Publishers.

23. National Standard of Iran, No. 2852.1371, the method of determining the total acidity of WPH or the density of H ions in milk and its products. (In Persian)

24. Poursani, P., Razavi, S.M.A., & Mazaheri Tehrani, M. (2021). Effect of selected fat replacers on textural, physical and sensory properties of non-fat ice cream. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *18*(112), 97–112. https://doi.org/10.52547/FSCT.18.112.97

25. Poursani, P., Razavi, S.M.A., Mazaheri Tehrani, M., & Javidi, F. (2021). Rheological, physical, and sensory properties of non-fat ice creams as affected by selected fat replacers. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(1), e15010. https://doi.org/10.1111/JFPP.15010

26. Rao, M.A. (2010). Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications: principles and applications. Springer Science & Business Media.

27. Saghaei. A., Karjian. H. & Nafchi. M. (2014). Rheological and textural properties of ice cream containing watercress seed gum. 24(2). https://foodresearch.tabrizu.ac.ir/article_ .188-179

28. Salahi, M., Razavi, S.M.A., & Sadegh Amiri, M.S. (2021). Optimization of hydrocolloid extraction from serish root (*Eremurus luteus*) using response surface method and examining physicochemical characterization of the optimized sample. *FSCT*, *18*(112), 153-168. https://doi.org/10.52547/fsct.18.112.153

29. Salahi, M., Razavi, S.M.A., & Hasanvand, E. (2022). Physicochemical, rheological and functional properties of a novel gum from *Eremurus luteus* root. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *27*, 100296. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100296

30. Salahi, M., Razavi, S.M.A., & Sadegh Amiri, M.S. (2021). Optimization of hydrocolloid extraction from serish root (*Eremurus luteus*) using response surface method and examining physicochemical characterization of the optimized sample. *Journal of Food Science and Technology (Iran), 18*(112), 153–168. https://doi.org/10.52547/FSCT.18.112.153
31. Shahrampour, D., & Razavi, S.M.A. (2023). Novel antimicrobial/antioxidant *Eremurus luteus* root gum coating containing rosemary essential oil nanoemulsions for extension of chicken meat shelf life. *Food Science & Nutrition, February*, 3131–3140. https://doi.org/10.1002/fsn3.3295
32. Soukoulis, C., Chandrinos, I., & Tzia, C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. LWT - Food Science and Technology, 41(10), 1816–1827. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2007.12.009
33. SZCZESNIAK, A.S., & Kahn, E.L. (1984). Texture contrasts and combinations: a valued consumer attribute. *Journal of Texture Studies*, *15*(3), 285-301. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1984.tb00385.x